

(10)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer: **0 458 180 A2**

(19)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 91107865.7

(61) Int. Cl.<sup>5</sup>: B23K 26/14, B23K 26/06

(22) Anmeldetag: 15.05.91

(20) Priorität: 19.05.90 DE 4016199

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
27.11.91 Patentblatt 91/48(64) Benannte Vertragsstaaten:  
AT CH DE FR LI NL(71) Anmelder: Linde Aktiengesellschaft  
Abraham-Lincoln-Strasse 21  
W-6200 Wiesbaden(DE)(72) Erfinder: Mair, Hermann, Dipl.-Ing.  
Mangfallstrasse 9  
W-8000 München 90(DE)  
Erfinder: Herrmann, Johann  
Fastlinger Ring 115  
W-8044 Unterschleißheim(DE)(74) Vertreter: Schaefer, Gerhard, Dr.  
Linde Aktiengesellschaft Zentrale  
Patentabteilung  
W-8023 Höllriegelskreuth(DE)

(94) Verfahren und Vorrichtung zum Laserstrahlschneiden.

(97) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Laserstrahlschneiden, wobei der Brennpunkt des Laserstrahles innerhalb des Düsenkanals der Schneiddüse liegt. Die Schneiddüse weist eine Form auf, die eine Schneidgasströmung als gebündelten, möglichst parallelen Strahl, vorzugsweise mit Überschallgeschwindigkeit, bis in die sich bildende Schnittfuge im bearbeiteten Werkstück ermöglicht. Vorzugsweise wird bei dieser verlängerten Bauform der Schneiddüse, z.B. mit einem konischen Düseneinlauf und einem im weiteren zylindrischen Düsenkanal oder mit einer lavaküßelähnlichen Schneiddüse der Düsenkanal verspiegelt. Dies kann durch Polieren oder Beschichten des Düsenkanals erreicht werden. Als Schneidgas eignen sich Sauerstoff mit großer Reinheit, Stickstoff, Argon, Helium, Wasserstoff und/oder Druckluft. Die Schneiddüse kann zusätzlich gekühlt werden.

EP 0 458 180 A2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserstrahlschneiden eines Werkstücks mit einem fokussierten Laserstrahl und einem Gasstrahl, die beide durch den Düsenkanal einer Schneiddüse geführt werden, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Verfahren zum Laserstrahlschneiden beruhen auf der Fokussierung eines Laserstrahles in einen Brennpunkt auf der Werkstückoberfläche, der eine so hohe Energiedichte aufweist, daß das Material des Werkstückes auf Zünd-, Schmelz- oder Verdampfungstemperatur gebracht wird. Dieses Material wird dann durch eine zum Laserstrahl koaxiale Schneidgasströmung ausgetrieben bzw. auch in ihm verbrannt (siehe H. Malr, "Thermische Schneidverfahren/ Autogenes Brennschneiden, Plasma-Schmelzschnitten, Laserstrahlschnitten ein technologischer und wirtschaftlicher Vergleich", DVS-Berichte, Band 109, Deutscher Verlag für Schweißtechnik GmbH). Die Form der Schneiddüse ist dadurch bestimmt, daß der Laserstrahl die Düse nicht berührt. Deshalb weist die Düse eine kurze Bauform auf. Diese bedingt, daß der Schneidgasstrahl unmittelbar nach Verlassen der Schneiddüse aufreißt und nicht als scharf gebündelter Gasstrahl zur Werkstückoberfläche strömt. Daraus ergibt sich vor allem bei großen Materialdicken die Gefahr, daß die Schnittflächen nicht ausreichend glatt sind. Außerdem können Werkstücke mit größerer Materialdicke nicht mehr geschnitten werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der obengenannten Art aufzuzeigen, welche ein verbessertes Laserstrahlschneiden ermöglichen und mit denen insbesondere auch Werkstücke mit größerer Materialdicke bei guter Schnittqualität schneidbar sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Brennpunkt des Laserstrahles oberhalb der Werkstückoberfläche im Düsenkanal liegt.

Das wesentliche Merkmal der Erfindung liegt darin, daß auf der Werkstückoberfläche ein Brennfleck entsteht und nicht mehr ein scharfer Brennpunkt vorhanden sein muß. Das gestattet, daß die Düsengeometrie nicht mehr ausschließlich auf den Strahlengang des Lasers ausgelegt sein muß, sondern auch wesentlich die Schneidgasströmung berücksichtigen kann. Im erfindungsgemäßen Verfahren wird also bewußt in Kauf genommen, daß das Material auf der gegenüber einem Brennpunkt größeren Fläche des Brennfleckes auf Zünd-, Schmelz- oder Verdampfungstemperatur erhitzt werden muß, was zunächst nachteilig erscheint. Auf der anderen Seite wird aber dadurch erst ermöglicht, daß der Schneidgasstrahl als scharf gebündelter Strahl gegen die Werkstückoberfläche bzw. in die entstehende Schnittfuge trifft. Insgesamt wird eine Verbesserung des Laserstrahlschneidens erreicht. Werkstücke mit größerer Material-

dicke sind bei guter Schnittqualität schneidbar.

Ein zusätzlicher Vorteil wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch erzielt, daß der Laserstrahl im Düsenkanal der Schneiddüse reflektiert wird, bevor er dann als Strahlenbündel den Brennfleck auf der Werkstückoberfläche erzeugt.

Verläßt der Schneidgasstrahl mit Überschallgeschwindigkeit die Schneiddüse, erleichtert das den Schneidvorgang zusätzlich, da mehr Energie zum Werkstück transportiert wird. Es erhöht sich damit auch die Schnittqualität. Die Schnittqualität des erfindungsgemäßen Verfahrens ist so gut, daß auf eine Nachbearbeitung der Schnittflächen weitestgehend verzichtet werden kann.

Als Schneidgas wird im Falle des Laserstrahlbrennschneidens vorzugsweise Sauerstoff mit einer Reinheit größer oder gleich 99,5 % verwendet. Ein beträchtlicher Anteil der zum Schneiden notwendigen Energie wird dann aus der exothermen Reaktion des Sauerstoffs mit dem zu schneidenden Werkstoff gewonnen. Beim Laserstrahlschmelz- und beim Laserstrahlsublimierschneiden eignen sich als Schneidgas Stickstoff, Argon, Helium, Wasserstoff und/oder Druckluft.

Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens bedient sich erfindungsgemäß einer Schneiddüse mit zwei charakteristischen Bereichen. Der in der Strömungsrichtung des Schneidgases erste Bereich ist durch eine Querschnittsverringering des Düsenkanals in Strömungsrichtung bestimmt. Der in Strömungsrichtung zweite Bereich ist dadurch festgelegt, daß der Querschnitt des Düsenkanals in Strömungsrichtung gleichbleibt oder zunimmt. Die Übergangsfläche zwischen erstem und zweitem Bereich stellt also die Fläche kleinsten Querschnitts im Düsenkanal dar. Der Durchmesser des Düsenkanals beträgt an dieser Übergangsfläche mit dem geringsten Querschnitt vorzugsweise 0,8 bis 1,5 mm. Die Länge des zweiten Bereiches weist mindestens die Länge des ersten Bereiches auf. Eine derartige Schneiddüse bewirkt durch ihre im Vergleich zu Schneiddüsen nach dem Stand der Technik längere Bauform eine wesentlich verbesserte Strömung des Schneidgases. Es resultiert ein scharf gebündelter Schneidgasstrahl zum Werkstück. Durch den scharf gebündelten, nahezu parallelen Strahl der Schneidgasströmung wird Schneidgas vorzugsweise mit Überschallgeschwindigkeit, bis tief in die Schnittfuge geblasen. Folglich lassen sich mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung Werkstücke mit größerer Materialstärke bei guter Schnittqualität schneiden.

In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird zumindest der zweite Bereich des Düsenkanals zur Verspiegelung poliert oder beschichtet. Es läßt sich damit ein in der Lasertechnik für diese Leistungsdichten üblicher Reflexionsgrad erzielen. Eine Reflexion des Laser-

strahles im Düsenkanal bringt so nur einen minimalen, unvermeidbaren Reflexionsverlust mit sich. Durch Polieren des Düsenkanals, vor allem wenn die Schneiddüse aus Kupfer oder einer kupferhaltigen Legierung besteht, gelingt es, den erwünschten hohen Reflexionsgrad zu erreichen. Ein ausreichend hoher Reflexionsgrad ergibt sich ebenso durch eine in der Lasertechnik übliche Beschichtung. Vor allem, wenn der Laserstrahl in der Düse reflektiert wird, tritt auch eine Erwärmung der Düse auf. Deshalb ist es mitunter besonders vorteilhaft, die Schneiddüse entweder durch Kühlwasser oder andere Kühlmittel wie flüssigen Stickstoff, Sauerstoff, Druckluft, Argon, Helium und/oder CO<sub>2</sub> zu kühlen. Das Kühlmittel kann hierbei in einem geschlossenen oder offenen System fließen. In einem offenen Kühlsystem kann zusätzlich durch eine gleichzeitige Kühlung des zu schneidenden Bleches dessen Wärmeverzug unterbunden werden.

Die Erfindung kann mit besonderem Vorteil eingesetzt werden, da zum Einsatz in einer Laserstrahlschneidanlage nach dem Stand der Technik lediglich die Schneiddüse im Schneidkopf gegen eine erfindungsgemäße Schneiddüse ausgetauscht werden muß.

Besonders vorteilhaft sind zwei spezielle Bauformen der Schneiddüse. Sie gewährleisten durch die Form des Düsenkanals einen auch nach Verlassen der Düse scharf gebündelten Strahl der Schneidgasströmung. Diese Bauformen werden im folgenden anhand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert:

Hierbei zeigen

Fig. 1 den Strahlengang zwischen Schneidkopf und Werkstück bei Verwendung einer Schneiddüse mit einem konischen Düsenlauf und im weiteren zylinderförmigen Düsenkanal und

Fig. 2 den Strahlengang bei Verwendung einer lavalldüsenähnlichen Schneiddüse.

In Fig. 1 ist die Schneiddüse 1a durch die gestrichelte Linie in zwei Bereiche A und B eingeteilt. Der in Strömungsrichtung des Schneidgas erste Bereich A besitzt einen konischen Düsenkanal. Der Querschnitt des Düsenkanals nimmt in Strömungsrichtung kontinuierlich ab. Der in Strömungsrichtung zweite Bereich B weist einen zylinderförmigen Düsenkanal auf. Im Bereich B bleibt der Querschnitt des Düsenkanals konstant. Die Länge des Bereiches B übertrifft die des Bereiches A. Der parallel einfallende Laserstrahl 2 wird durch die Fokussierlinse 3 gebündelt. Er trifft, nachdem er am verspiegelten Düsenkanal des Bereiches B reflektiert wird, auf die Oberfläche des zu schneidenden Werkstückes 4. Der entstehende Brennfleck umfaßt dabei einen Durchmesser von ca. 1,0 bis 3,0 mm.

Fig. 2 zeigt eine lavalldüsenähnliche Schneid-

düse 1b, ebenfalls unterteilt in die Bereiche A und B. Der in Strömungsrichtung erste Bereich A charakterisiert den Abschnitt des Düsenkanals, dessen Querschnitt sich in Strömungsrichtung verringert. Die gestrichelt dargestellte Trennungslinie zwischen Bereich A und B kennzeichnet die Stelle des Düsenkanals mit dem kleinsten Querschnitt. Der Bereich B teilt sich im dargestellten Fall in drei Unterbereiche mit unterschiedlicher Querschnittscharakteristik des Düsenkanals in Strömungsrichtung. Zunächst bleibt der Querschnitt in Strömungsrichtung in einem zylinderförmigen Teil konstant, dann nimmt er in einem konischen Teil stetig zu und verläuft dann schließlich wieder in einem zylinderförmigen Teil konstant. Durch diese Folge von konischen und zylinderförmigen Düsenkanalbereichen wird ein insgesamt lavalldüsenähnlicher Düsenkanal erreicht. Dabei weist der Abschnitt des Düsenkanals in Bereich B eine größere Länge auf als der in Bereich A. Der parallel einfallende Laserstrahl 2 wird, wie in Fig. 1, durch die Fokussierlinse 3 gebündelt, am Düsenkanal innerhalb des Bereiches B reflektiert und dann auf die Oberfläche des Werkstückes 4 geworfen. Der Brennfleck besitzt einen Durchmesser von ca. 1,0 bis 3,0 mm.

#### Patentansprüche

- Verfahren zum Laserstrahlschneiden eines Werkstückes mit einem fokussierten Laserstrahl und einem Gasstrahl, die beide durch den Düsenkanal einer Schneiddüse geführt werden, dadurch gekennzeichnet, daß der Brennpunkt des Laserstrahles oberhalb der Werkstückoberfläche im Düsenkanal liegt.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl in der Schneiddüse reflektiert wird und als Strahlenbündel auf die Werkstückoberfläche trifft.
- Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrahl die Schneiddüse mit Überschallgeschwindigkeit verläßt.
- Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Schneiddüse aus zwei Bereichen besteht, wobei der in Strömungsrichtung erste Bereich durch eine Querschnittsverringering des Düsenkanals in Strömungsrichtung bestimmt ist, und der in Strömungsrichtung zweite Bereich dadurch festgelegt ist, daß der Querschnitt des Düsenkanals in Strömungsrichtung gleichbleibt oder zunimmt, wobei die Länge des zweiten Bereiches mindestens die Länge des ersten Bereiches aufweist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Düsenkanal zumindest im zweiten Bereich zur Verspiegelung poliert oder beschichtet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Bereich des Düsenkanals konisch und der zweite Bereich zylindrisch ausgebildet sind.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Düsenkanal einen lavaldüsenähnlichen Querschnittsverlauf aufweist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse in einem geschlossenen oder offenen Kühlsystem gekühlt wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

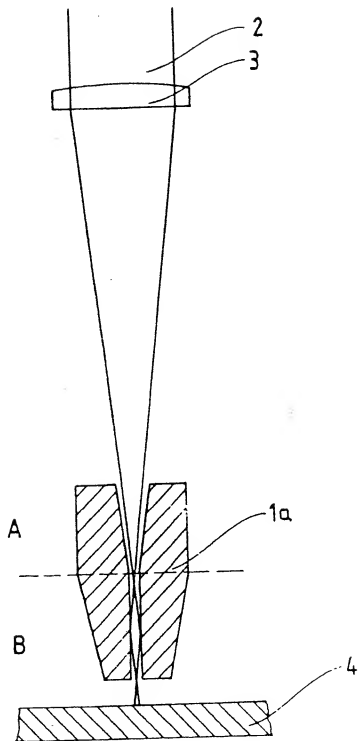


Fig. 2

